
HERRAMIENTA DE CÓMPUTO PARA EL APOYO DE LA ENSEÑANZA DE LA DINÁMICA ESTRUCTURAL

Octavio Hinojoza Gabriel¹ y Mario Ordaz Schroeder²

RESUMEN

Se presenta el programa de cómputo *Dinámica V3.1* como una herramienta de apoyo para la enseñanza y aprendizaje de la dinámica estructural; dicho programa es una aplicación para Windows con una interfaz gráfica amigable al usuario que permite ver las animaciones de la respuesta dinámica de los osciladores de uno y varios grados de libertad cuando estos son sometidos a diferentes tipos de excitación en su base. Se describe además, las ventanas en las que se ejecutan las animaciones; asimismo se presentan los resultados de utilizar el software dentro de un salón de clase.

ABSTRACT

This paper presents the software *Dinámica V3.1* how a tool to support the process teaching-learning of structural dynamics; this software is a applications for Windows with an easy interface graphic that shows animations of the response single degree of freedom system and multiple degree of freedom system to different excitation types. The main windows and the results of use this software in a classroom, are shows.

ANTECEDENTES

El proceso enseñanza-aprendizaje no ha cambiado mucho aun con la aparición de la computadora en los centros escolares. Dicho proceso se ha mantenido constante en la *forma tradicional* de dar clase, sin incorporar el uso de la computadora de manera sustancial en salón debido en gran medida a la falta de un software educativo (Cuevas, 2001) creado especialmente para cada clase.

Los programas de cómputo que hay en el mercado no cumplen con las necesidades para ser un software educativo (Cuevas, 2001) y por lo tanto, cuando su uso se llega a presentar en un salón de clase, resultan ser limitados y complejos de manejar.

El software educativo es un producto tecnológico diseñado para apoyar procesos educativos que utilizan tanto el profesor como el alumno para alcanzar determinados propósitos. Además, es un medio de presentación y desarrollo de contenidos educativos, como puede ser un libro o un video, con su propio formato expresivo y secuencia narrativa (Morales, 1998).

Con la ayuda de un software educativo es posible mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Franco, 2005), a fin de que:

- ✓ El aprendizaje sea más interesante
- ✓ El aprendizaje sea activo, y no pasivo como ocurre frecuentemente en las aulas
- ✓ Los estudiantes estén más motivados; esta última no equivale a estar más “entretenidos”
- ✓ El aprendizaje sea al ritmo individual del estudiante

Si bien es cierto que durante muchos años la forma tradicional de enseñar ha sido la formadora de profesionistas y trabajadores (Benítez, 2000), complementarla con la ayuda de los recursos de la tecnología

1 Egresado del programa de maestría y doctorado en ingeniería, UNAM, Correo: octvmx@yahoo.com.mx

2 Investigador, Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México, DF, Teléfono: (55) 5623-3500 ext. 1261; mordazs@iingen.unam.mx

como la computadora podría traer un mayor beneficio en el proceso enseñanza-aprendizaje. Además, el trabajo de un docente dentro de un salón de clase se dificulta menos si se incorpora la ayuda de la ciencia y la tecnología que ha transformado a nuestra sociedad.

INTRODUCCIÓN

Se presenta el programa *Dinámica V3.1* como una herramienta de apoyo para la enseñanza y aprendizaje de la dinámica estructural, desarrollado como tema de tesis de maestría en marzo del 2009 por Octavio Hinojoza siendo director de tesis el Dr. Mario Ordaz, en el programa de maestría y doctorado en ingeniería de la UNAM.

Dinámica V3.1 tiene como principal característica calcular y mostrar las animaciones de la respuesta dinámica (desplazamiento, velocidad, aceleración relativa y absoluta) de sistemas de uno y múltiples grados de libertad modelados con masas concentradas y resortes con propiedades elásticas lineales, bajo excitaciones en función del tiempo como: vibración libre, pulso, senoide y de tipo arbitrario; en el programa se pueden variar los parámetros del periodo, masa, rigidez, amortiguamiento y condiciones iniciales.

El software, que fue desarrollado en Visual Basic .Net (lenguaje de programación orientado a objetos implementado sobre el Framework .NET), es una aplicación para Windows con una interfaz gráfica amigable al usuario, de tal manera que este último no tiene que invertir demasiado tiempo en conocer el funcionamiento de cada control dentro del programa.

Es importante resaltar que *Dinámica V3.1* se concibe como un *simulador* de la respuesta dinámica de osciladores de uno y varios grados de libertad, y no como un programa que enseñe, por sí solo, la dinámica estructural. Además, no tiene como finalidad suplir al profesor ni a la bibliografía del tema; el programa surge como una ayuda tanto para el profesor como para los alumnos y es imprescindible que se tome como tal.

El programa, diseñado para ser una herramienta de apoyo en el proceso aprendizaje-enseñanza, no debe emplearse como una especie de “caja negra” al que se le introducen datos para obtener resultados; es importante que el usuario analice y comprenda los conceptos teóricos de los temas de dinámica estructural, resolviendo las ecuaciones del equilibrio dinámico y comparando sus resultados obtenidos con los que proporciona el programa.

PROGRAMA: DINÁMICA V3.1

Desde el punto de vista de la ingeniería sísmica, el tema central de la dinámica es estudiar y entender la vibración de una estructura cuando está sujeta a una fuerza lateral u horizontal, o a un movimiento sísmico en su base (Chopra, 2001). Esto se hace a través del estudio de un modelo, llamado *oscilador*, que es la representación matemática de la estructura real y que adopta las propiedades la misma.

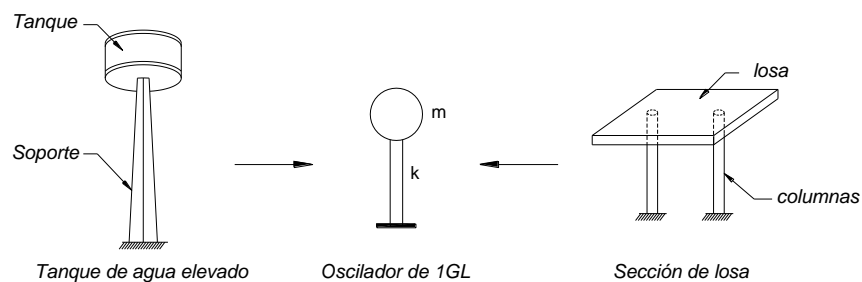


Figura 1 Representación de dos estructuras como osciladores de 1GL

El estudio del movimiento ondulatorio de los osciladores no es sencillo de enseñar en un medio estático como el papel, pizarrón, etc. (Franco, 2005), ya que su comportamiento es dependiente del tiempo. Para explicar este tema, es importante no sólo obtener el valor máximo de la respuesta dinámica (un instante de tiempo), sino también cómo evoluciona la representación gráfica temporalmente.

La ventaja que puede proporcionar un software en este sentido es que el estudiante vea el movimiento del oscilador antes de comenzar a resolver el problema y poder analizarlo a partir de la observación de las distintas etapas del movimiento del mismo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Puede definirse como un software de enseñanza y práctica. Se concibe como un software de enseñanza ya que a través de su uso en clase el estudiante enriquece sus conceptos de dinámica. También, es un software de práctica ya que el usuario puede usar el programa fuera de clase y analizar problemas de la bibliografía que le permitan adquirir una mejor comprensión y avanzar a su propio ritmo.

Se ha diseñado para que los usuarios interactúen con la aplicación y les resulte fácil encontrar y utilizar las funciones del programa. El aspecto general de la aplicación se agilizó de manera que se presentan opciones muy sencillas para obtener las respuestas dinámicas y las animaciones, de forma que sólo se tiene que elegir un tipo de carga y oprimir *Play* para ver la animación, sin necesidad de complicados cuadros de diálogo.

El programa *Dinámica V3.1*, al ser una aplicación para el sistema operativo Windows, tiene un paquete de instalación para copiar a la computadora las librerías requeridas para su funcionamiento. La tabla 1 muestra los requisitos mínimos que debe tener el sistema para que el programa pueda ser ejecutado.

Tabla 1 Requisitos mínimos del sistema

<i>Hardware</i>	Procesador Pentium 4, 2.80 GHz o superior Memoria en RAM: 512 Mb Espacio libre en disco duro: 3 Mb Resolución mínima en pantalla de 1024 x 768 pixeles
<i>Software</i>	Windows Xp Service Pack 2 o superior Net Framework 3.5

Al iniciar el programa, se mostrará siempre la ventana de presentación (figura 2) por unos pocos segundos, e inmediatamente después aparecerá la ventana general (figura 3), que es el inicio del programa.



Figura 2 Ventana de presentación

La interfaz gráfica del programa se conforma de varias ventanas y controles dentro de éstas. El programa tiene ventanas principales en las cuales se muestran las animaciones de las gráficas de respuesta y de los osciladores; también tiene ventanas secundarias que sirven para generar opciones alternas al proceso expuesto en las ventanas principales.

Desde la barra de menús de la ventana general (figura 3), se accede a las ventanas principales destinadas para cada tema: osciladores de 1GL y osciladores de VGL.

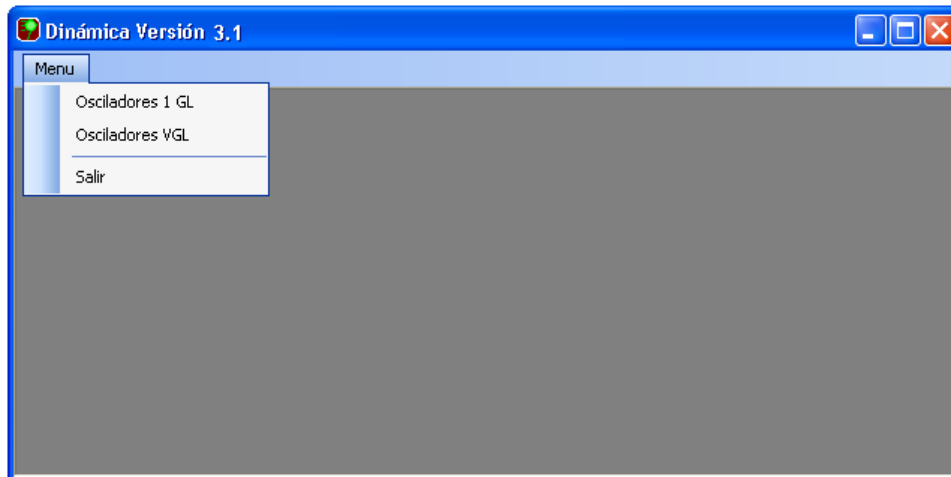


Figura 3 Ventana general

VENTANA “OSCILADORES DE 1GL”

Esta ventana (figura 4) está dedicada al tema de los osciladores de 1GL, en ésta el usuario puede definir hasta tres osciladores con diferentes propiedades. El objetivo es exponer y comparar de manera gráfica la respuesta dinámica de los osciladores cuando están sujetos a la misma excitación en su base, y a su vez mostrar la animación de su movimiento durante el tiempo que se ejerce la excitación.

En la parte baja de la ventana se puede observar a tres osciladores (figura 4, #3) con diferentes colores: verde, azul y rojo, con propiedades elástico-lineales con periodo (T) igual a 0.5s, 1s y 2s respectivamente, con un mismo amortiguamiento del $\xi=5\%$, y condiciones iniciales cero. Estos parámetros se definen en los controles ubicados en la parte derecha de la ventana (figura 4, #4).

Todos los osciladores están sometidos en su base a la señal de excitación (figura 4, #1), “El Centro” (registro sísmico del 18 de mayo de 1940 en California, EUA), seleccionada de la base datos del programa; debajo de la señal de excitación se ubican las gráficas de la respuesta dinámica de los tres osciladores; para este ejemplo se muestran los desplazamientos de cada oscilador.

Las gráficas de la respuesta dinámica que obtiene el programa para cada oscilador bajo la acción de la excitación seleccionada son: desplazamiento, velocidad, aceleración relativa y aceleración absoluta. Para obtener estas respuestas el programa toma a cualquier señal de excitación seleccionada como:

$$\ddot{x}_s(t) \quad (1)$$

Como el objetivo del programa es calcular y mostrar la respuesta dinámica de los osciladores ante cualquier tipo de excitación en su base, la señal de excitación ec.1 se considera con valores discretizados a intervalos constantes de tiempo (Δt).

El programa *Dinámica V3.1* resuelve la ecuación del equilibrio dinámico ec. 2 utilizando una aproximación numérica de la integral de Duhamel, conocido también como el método de las *ocho constantes*, que es un método numérico altamente eficiente para sistemas lineales cuando la señal de excitación tiene un intervalo de tiempo (Δt) constante entre cada dato del registro, y además, supone una relación lineal entre ellos. Si los intervalos de tiempo son pequeños la interpolación lineal se considera satisfactoria (Chopra, 2001).

$$\ddot{x}(t) + 2 \cdot \xi \cdot \Omega \cdot \dot{x}(t) + \Omega^2 \cdot x(t) = -\ddot{x}_s(t) \quad (2)$$

Además de la señal de excitación de “El Centro” que se muestra en la figura 4, el programa tiene cargados en forma predeterminada los siguientes tipos de excitación a los que pueden ser sometidos los osciladores:

- Vibración libre
- Pulso
- Triangular
- Senoide
- Arbitraria
- Base de datos

Una característica importante del programa es que permite al usuario, a través de la opción “Arbitraria”, introducir cualquier tipo de excitación que esté contenida en un archivo de texto, pudiendo ser el caso por ejemplo de un registro de aceleración. Incluso dichos registros se pueden guardar en la base de datos del programa.

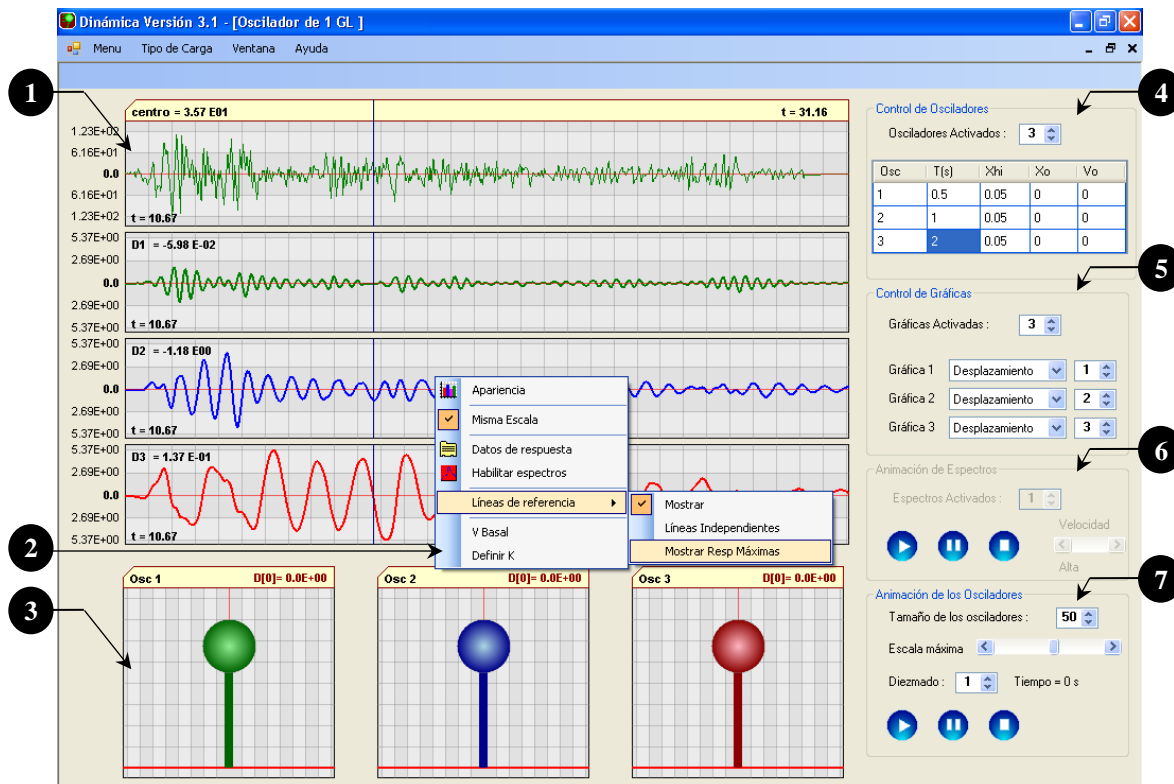


Figura 4 Ventana de osciladores de 1GL

La ventana (figura 4) está diseñada para que el usuario vea en un sólo espacio de trabajo las gráficas de las respuestas, los dibujos de osciladores de 1GL y los controles correspondientes a éstos. Dentro de cada gráfica de respuesta existe un menú emergente (figura 4, #2) que proporciona, entre otras, opciones para cambiar la apariencia de las gráficas, mostrar los datos de respuesta y habilitar los espectros.

En la franja del extremo derecho de la ventana (figura 4) se ubican los grupos de controles para indicar propiedades de los osciladores (figura 4, #4), definir el tipo de gráfica de respuesta que se desee ver (figura 4, #5) y mostrar las animaciones de los osciladores y espectros de respuesta (figuras 4, #6 y #7 respectivamente).

Con ayuda de los controles para la animación de los osciladores (figura 4, #7), el usuario puede ver el movimiento de estos en sincronía con las gráficas de respuesta, como se puede observar en la figura 5; para ello basta con dar clic en el botón Play, e inmediatamente comenzará la animación.

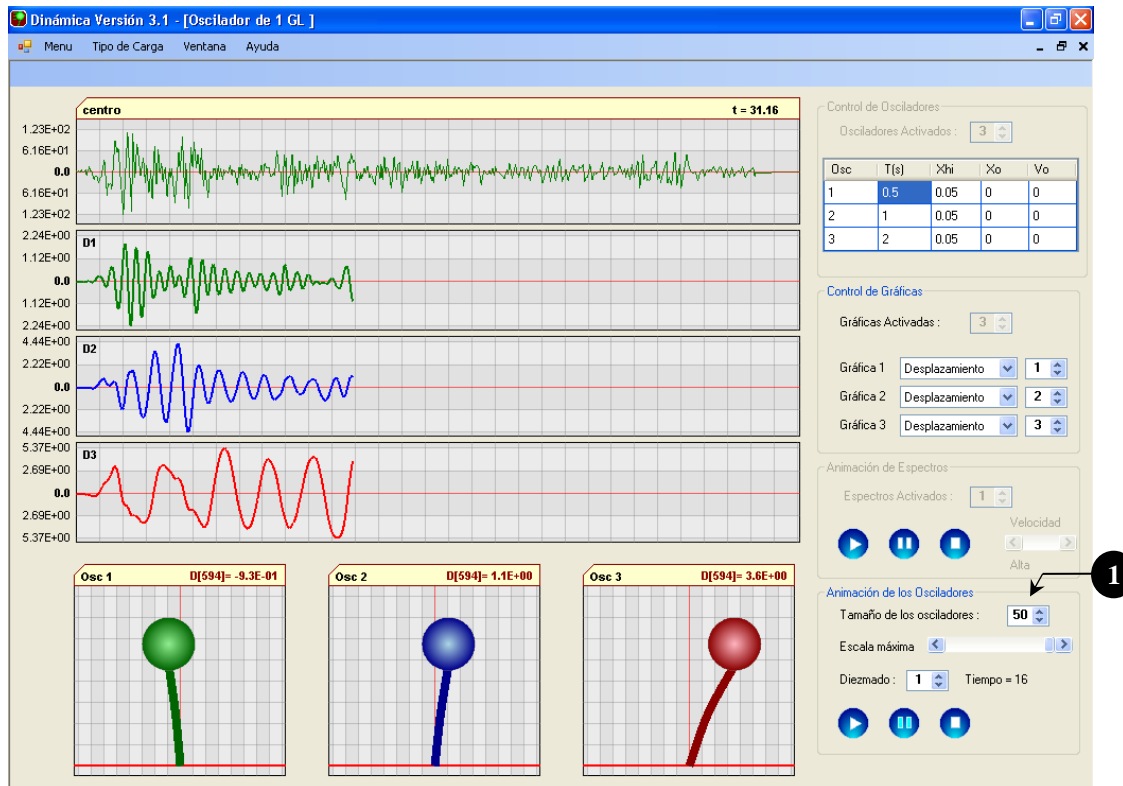


Figura 5 Animación de los osciladores

En el grupo de controles (figura 5, #1), además del botón *Play*, se encuentran los botones *Pausa* y *Stop* para manipular la animación, una opción de diezmo para ver la animación de los osciladores más rápida, y un control para establecer la distancia relativa de hasta dónde llegará el desplazamiento máximo del oscilador.

Dinámica V3.1 calcula y muestra la respuesta dinámica de los osciladores de manera automática cada vez que el usuario cambia el tipo de carga y/o modifica las propiedades del oscilador.

Además de la respuesta dinámica, el software también calcula la fuerza cortante para cada oscilador. Una vez calculada la respuesta de desplazamiento $x(t)$ por el análisis dinámico del oscilador, las fuerzas internas pueden determinarse mediante un análisis estático para cada instante de tiempo, a través de la ec. 3, basada en el concepto de la fuerza estática equivalente.

$$f_s(t) = k \cdot x(t) \quad (3)$$

El programa muestra sobre cada oscilador (figura 6), la fuerza cortante correspondiente en un determinado punto de la gráfica de respuesta.

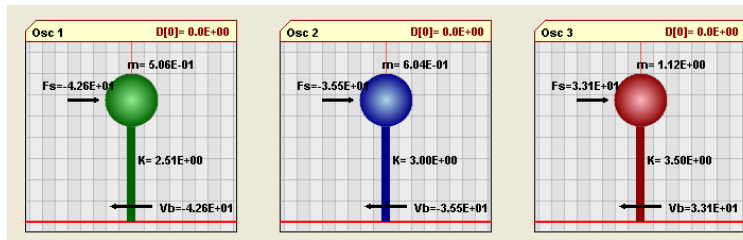


Figura 6 Fuerza cortante sobre los osciladores

Dinámica V3.1 tiene la opción de calcular y graficar los espectros de respuesta, contruidos a partir de las respuestas máxima de los osciladores (desplazamiento, velocidad o aceleraciones) bajo la excitación que haya seleccionado el usuario.

Cuando el programa calcula los espectros de respuesta, estos son colocados en el lugar de los osciladores, parte baja de la ventana (figura 7, #1). En este ejemplo se muestran los espectros de respuesta de desplazamientos calculados con los parámetros de: $T_{inicial} = 0.01s$, $T_{final} = 5s$, $\Delta T = 0.01s$, amortiguamientos del $\xi = 2\%$, 5% y 10% , y condiciones iniciales cero. *Dinámica V3.1* calcula sólo espectros de respuesta lineales, debido a que la respuesta que se obtiene es de osciladores elásticos lineales.

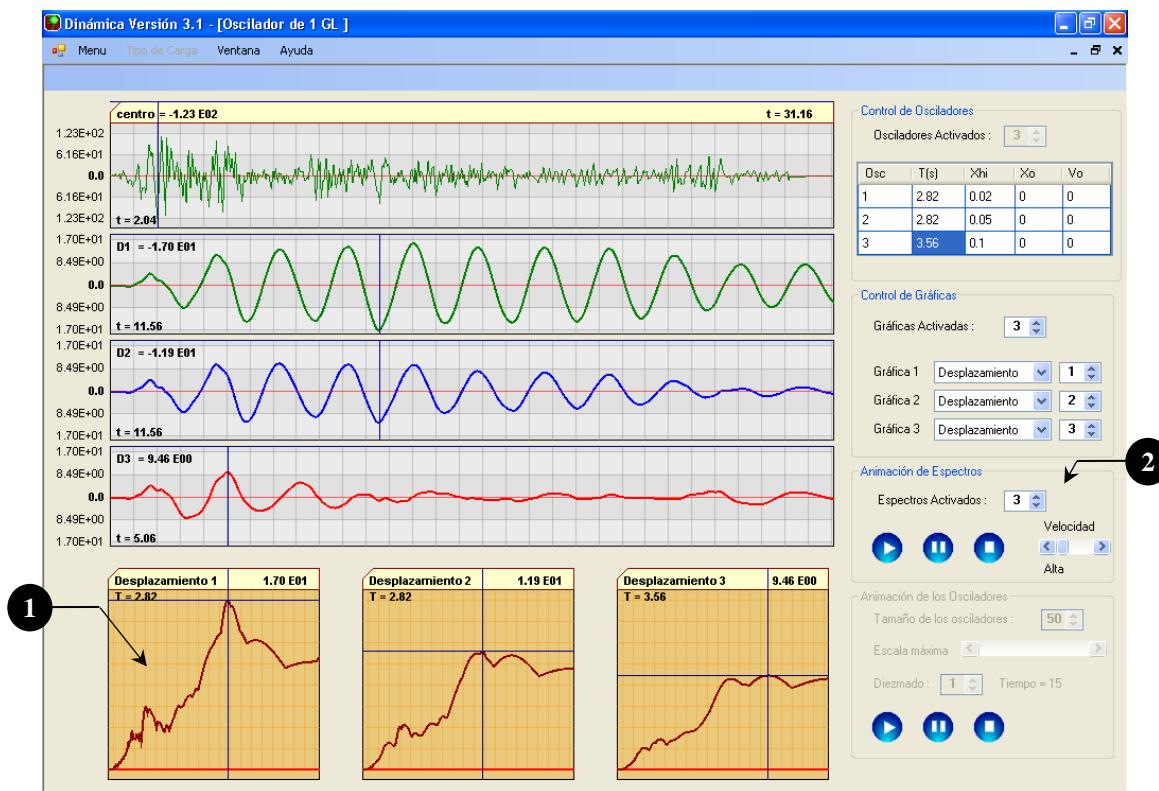


Figura 7 Ventana que muestra los espectros de respuesta

Al igual que los osciladores, también es posible ver la animación de los espectros en sincronía con las gráficas de respuesta; el grupo de controles (figura 7, #2) ayuda a manipular dicha animación. El programa tiene la característica de mostrar y exportar (a archivos de texto) los valores numéricos de las respuestas de cada oscilador, así como el valor de las ocho constantes que se utilizaron para obtener la respuesta dinámica.

VENTANA “OSCILADORES DE VGL”

Las estructuras no siempre pueden modelarse dinámicamente empleando un oscilador de un grado de libertad, y en general, es necesario modelar las estructuras como sistemas de varios grados de libertad (Paz, 1992). Estos osciladores representan a estructuras que su peso o su masa no se puede concentrar en un sólo punto, sino que se necesario considerar un modelo de varias masas concentradas y resortes.

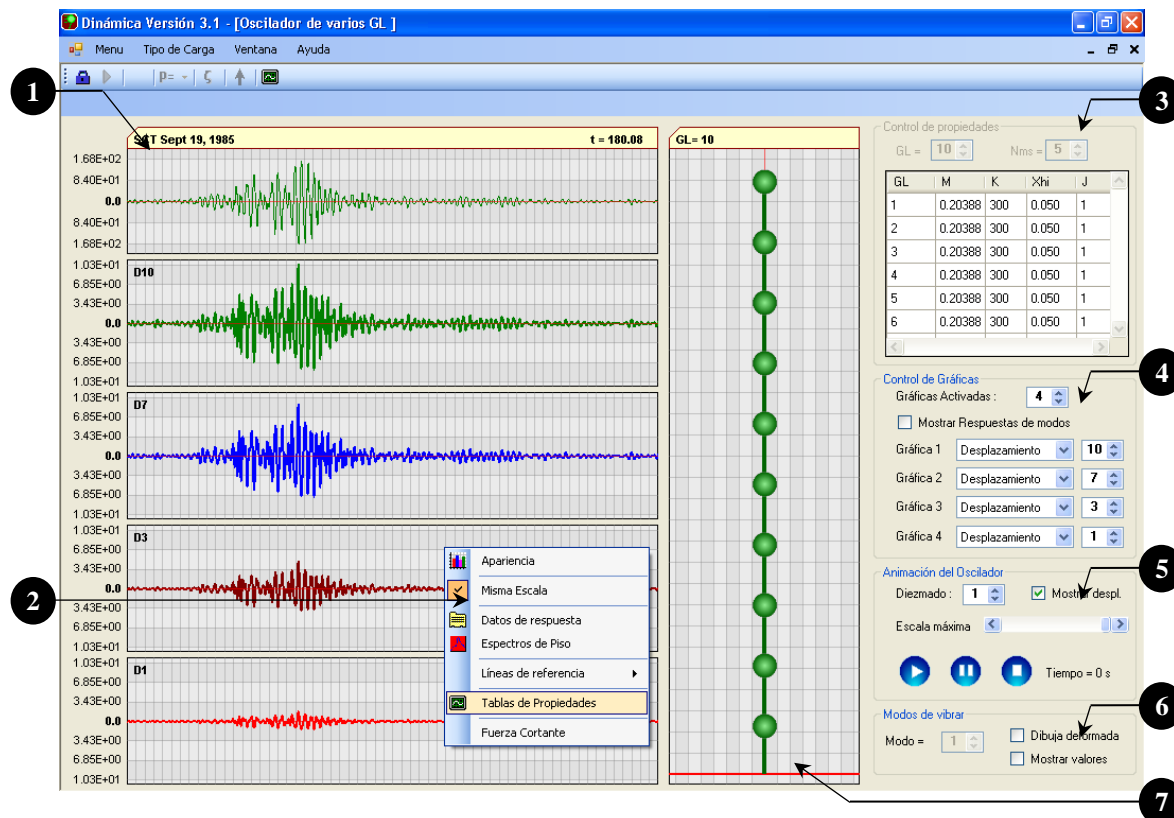


Figura 8 Ventana del oscilador de VGL

Esta ventana (figura 8) está dedicada al tema de los osciladores de VGL, en ésta el usuario sólo puede definir un oscilador de múltiples grados de libertad (rango de: 2 a 25) con diferentes propiedades cada uno. Al igual que la ventana de los osciladores de 1GL, el objetivo es exponer de manera gráfica la respuesta dinámica del oscilador cuando está sujeto una excitación en su base y a la vez mostrar la animación de su movimiento durante el tiempo que se ejerce la excitación.

En la ventana se puede observar un oscilador de diez grados de libertad (figura 8, #7) con propiedades elástico-lineales y con valores para cada grado de libertad de: masa= 1961.28 kN/g (0.20388 t-s²/cm), rigidez= 294193.12 kN/m (300 t/cm) y amortiguamiento modal del $\xi=5\%$. Estos parámetros se definen en los controles ubicados en la parte derecha de la ventana (figura 8, #3).

El oscilador de VGL está sometido en su base a la señal de excitación (figura 8, #1) “SCT” (registro sísmico del 19 de septiembre de 1985 en Michoacán, México), seleccionado de la base datos del programa; debajo de la señal de excitación se ubican las gráficas de los desplazamientos de los grados de libertad 10, 7, 3 y 1 del oscilador; en este ejemplo la numeración de los grados de libertad del oscilador es de abajo hacia arriba.

En este caso no se calcula la respuesta dinámica del oscilador automáticamente tras cambiar algún valor de sus propiedades, como en la ventana de los osciladores de 1GL; esto debido a que el cálculo de la respuesta tarda un poco más y depende proporcionalmente del número de grados de libertad que tenga el oscilador.

En esta ventana, sólo se pueden mostrar como máximo cuatro gráficas de respuesta (figura 8). Si el usuario desea ver la respuesta de cualquier otro grado de libertad del oscilador, basta con seleccionar la gráfica en la franja de controles ubicada en la parte derecha de la ventana (figura 8, #4).

La ventana cuenta con una barra de herramientas (figura 9) debajo de la barra de menús; una de sus opciones es para generar la respuesta dinámica. La descripción de todos sus botones se muestra en la tabla 2.

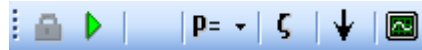


Figura 9 Barra de herramientas

Tabla 2 Botones de la barra de herramientas

Botón	Descripción
	Desaparece la respuesta dinámica del oscilador de VGL
	Calcula la respuesta del oscilador de VGL ante el tipo de excitación seleccionado
	Coloca para todos los grados de libertad las mismas propiedades: masa, rigidez, amortiguamiento, vector de forma y condiciones iniciales.
	Muestra la ventana “ <i>Tipo de amortiguamiento</i> ”
	Establece el sentido de numeración de los grados de libertad
	Muestra la ventana “ <i>Propiedades</i> ”

El diseño de la ventana (figura 8) es muy similar a la de los osciladores de 1GL, el usuario puede ver en un sólo espacio de trabajo las gráficas de las respuestas, el oscilador de VGL y sus controles correspondientes. También existe dentro de cada gráfica de respuesta un menú emergente (figura 8, #2) que proporciona, entre otras, opciones para cambiar la apariencia de las gráficas, mostrar los datos de respuesta y calcular, en este caso, los espectros de piso.

En la franja del extremo derecho de la ventana (figura 8) se ubican los grupos de controles, con las mismas características que sus similares en la ventana de los osciladores de 1GL, para indicar las propiedades de los osciladores (figura 8, #3), definir el tipo de gráfica de respuesta que se desee ver (figura 8, #4), observar las animaciones del oscilador (figuras 8, #5) y mostrar las formas modales (figuras 8, #6).

Con ayuda de los controles para la animación de los osciladores (figura 8, #5), el usuario puede ver el movimiento del oscilador en sincronía con las gráficas de respuesta, como se puede observar en la figura 9; para ello basta con dar clic en el botón *Play*, e inmediatamente comenzará la animación.

Al momento de estar ejecutándose la animación, el programa puede mostrar (en el mismo dibujo del oscilador) los valores del desplazamiento de cada grado de libertad en el instante de tiempo que corresponda a la animación, como se puede ver en el oscilador de la ventana (figura 10).

El grupo de controles (figura 8, #6) le permiten al usuario ver las formas modales calculadas, mostrando sus valores normalizados siempre al primer grado de libertad del oscilador.

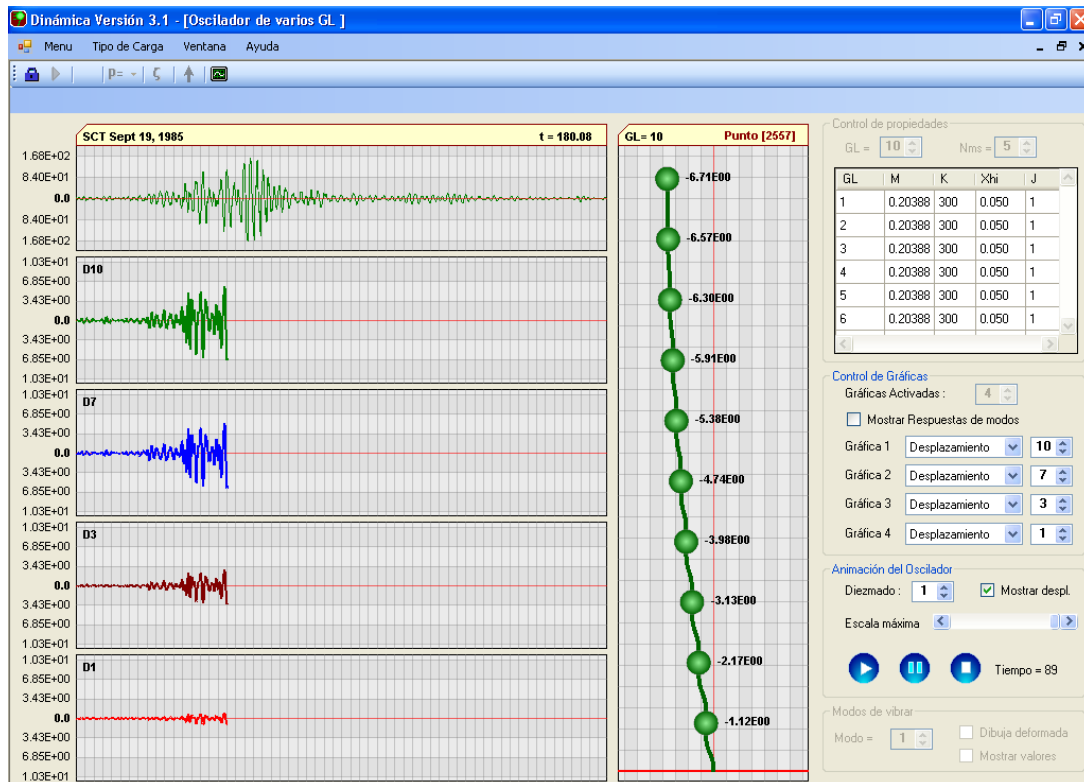


Figura 10 Animación del oscilador

Tanto las gráficas de respuesta (desplazamiento, velocidad, aceleración relativa y aceleración absoluta) que obtiene el programa para este oscilador, como la consideración de la señal de excitación ec. 1, son las mismas que para los osciladores de 1GL.

En este caso la ecuación del equilibrio dinámico está dada en forma matricial y se expresa de la siguiente manera:

$$[m] \cdot \{\ddot{x}(t)\} + [c] \cdot \{\dot{x}(t)\} + [k] \cdot x(t) = -[m] \cdot \{\ddot{x}_s(t)\} \quad (4)$$

El programa *Dinámica V3.1* resuelve la ecuación del equilibrio dinámico ec. 4 a través del método de la superposición modal, que consiste en modificar el sistema de referencia de tal forma que se pueda determinar la respuesta para cada grado de libertad como un sistema de 1GL, quedando la ecuación en forma modal de la siguiente manera:

$$\ddot{y}(t) + 2\xi \cdot \Omega \cdot \dot{y}(t) + \Omega^2 \cdot y = -Fp \cdot \ddot{x}_s(t) \quad (5)$$

Donde, los factores de participación Fp se calculan de la siguiente manera:

$$Fp = \frac{\begin{bmatrix} \phi^T \\ \phi^T \end{bmatrix} \cdot [m] \cdot \{j\}}{\begin{bmatrix} \phi^T \\ \phi^T \end{bmatrix} \cdot [m] \cdot [\phi]} \quad (6)$$

El programa calcula las frecuencias Ω y modos de vibrar (formas modales) ϕ del oscilador; el sistema de VGL tendrá tantas frecuencias como grados libertad. Con la ec. 5 es posible resolver cada modo como si fuera un oscilador de 1GL, y para ello el programa aplica el mismo procedimiento que se utilizó para los osciladores de 1GL.

Cuando se tiene todas las respuestas en forma modal, el programa aplica en forma inversa el método de la superposición modal para obtener la respuesta dinámica en las coordenadas originales del sistema para cada grado de libertad del oscilador.

Aparte de calcular la respuesta dinámica del oscilador de VGL, el programa puede obtener los espectros de piso para cada grado de libertad del oscilador. En la figura 11, se muestra un espectro de este tipo para el grado de libertad cinco, calculado con los parámetros de: T inicial = 0.01s, T final = 0.5s, ΔT = 0.01s, amortiguamientos del $\xi=2\%$ y condiciones iniciales cero.

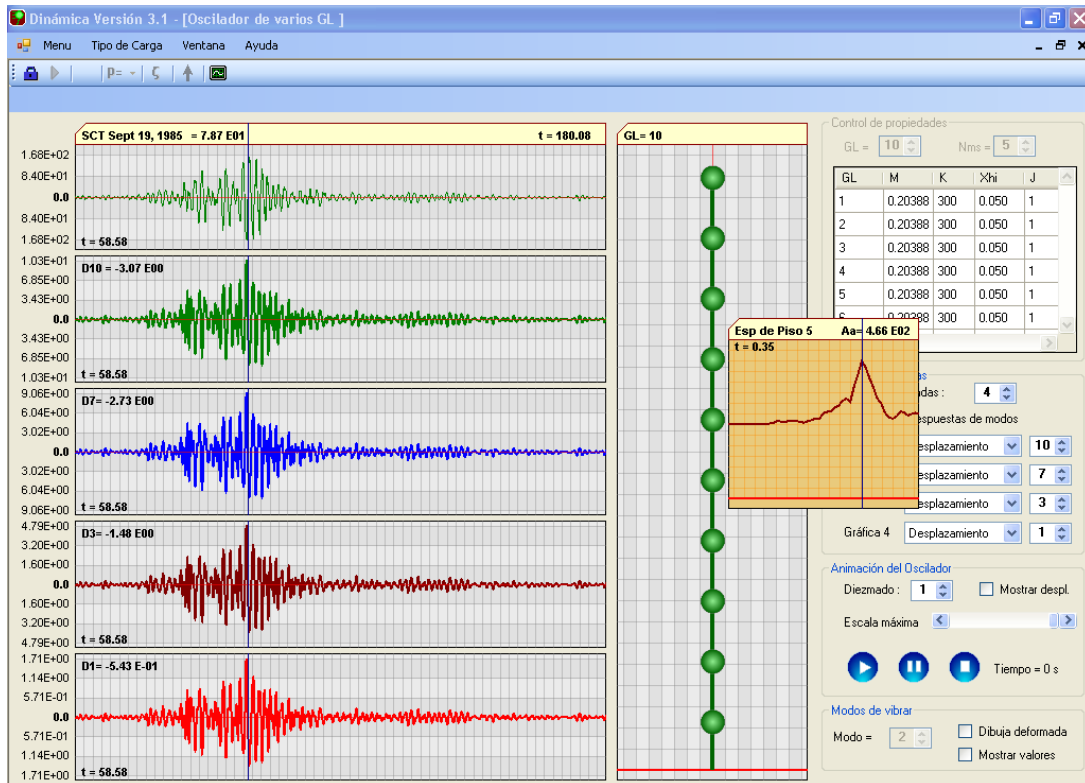


Figura 11 Espectros de piso

Para mostrar el espectro de piso de cada grado de libertad sólo es necesario hacer clic sobre la masa del grado de libertad del cual se desee ver el espectro. El análisis de espectro de piso es útil para equipos, componentes o alguna otra estructura pequeña que se ubique dentro del oscilador de VGL y que su masa sea menor en relación a las masas del oscilador de VGL ya que de lo contrario su masa podría interactuar con las demás masas de la estructura principal afectando la ec. 4.

Para este oscilador, *Dinámica V3.1* también muestra la fuerza cortante para cada grado de libertad, calculada de la misma forma que para los osciladores de 1GL, sólo que aquí se considera el desplazamiento relativo entre las masas del oscilador. Entre otras opciones, esta ventana permite cambiar el tipo de amortiguamiento del oscilador, ya sea introduciendo el amortiguamiento modal o a través de los coeficientes de Rayleigh (Chopra, 2001), también proporciona la matriz de masas y rigidez, periodos y frecuencias calculados, modos de vibrar y factores de participación.

VENTANA “AYUDA”

En términos generales se considera que el programa *Dinámica V3.1*, tiene una interfaz amigable, que le permite al usuario conocer rápidamente el funcionamiento del programa. No obstante, se colocó en la

aplicación un archivo con temas de ayuda (figura 12) dónde el usuario podrá encontrar la función que cumple cada control dentro del programa.



Figura 12 Ventana de ayuda

El archivo de ayuda sólo tiene información acerca del uso de los controles del programa y no proporciona ningún algoritmo de cálculo, si el usuario necesita conocer más a fondo el funcionamiento del programa, puede consultar la referencia “Hinojoza, 2009”.

APLICACIÓN Y RESULTADOS

Como se ha observado en las diversas figuras anteriores, las ventanas principales del programa permiten al usuario (alumno y profesor) tener una visión más clara del resultado de la respuesta dinámica (en todo el tiempo que dura la excitación) de los osciladores, aspecto que no es posible cuando en clase sólo se muestran los números y dibujos en forma estática.

Las gráficas de respuesta le permiten al usuario ver rápidamente cuál oscilador tiene la mayor respuesta dinámica y en qué punto del tiempo se encuentra ésta. La comparación de las respuestas y comportamiento de los osciladores se hace más evidente cuando se observa gráficamente. Con el programa *Dinámica V3.1*, el usuario puede comparar los resultados obtenidos de ejemplos hechos en clase y mostrados en la bibliografía del tema, aspecto importante, ya que muchas veces no hay punto de comparación para los problemas que se plantean en clase.

Con *Dinámica V3.1* se fomenta el interés en los alumnos por estudiar el tema de dinámica estructural, al mostrar en clase las animaciones del comportamiento de los osciladores y las gráficas de respuesta. El programa, a partir de la solución de las ecuaciones del equilibrio dinámico, permite estudiar temas como:

- ✓ Resonancia
- ✓ Deformación máxima
- ✓ Espectros de respuesta elásticos
- ✓ Fuerza cortante
- ✓ Frecuencias y modos de vibrar

- ✓ Respuestas modales
- ✓ Espectros de piso

COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA DINÁMICA

La respuesta dinámica del programa *Dinámica V3.1*, para osciladores de 1GL se comparó con dos programas afines: DEGTRA (Ordaz y Montoya, 2002) y USEE (Aschheim y Abrams, 2001); además, también se hizo una comparación con valores tomados de un ejemplo del libro “Dynamics and structures” (Chopra, 2001).

La comparación se hizo mediante los espectros de respuesta de: desplazamiento, velocidad y aceleración absoluta, con un amortiguamiento $\xi=2\%$, y un rango de periodos de $T_{\text{inicial}} = 0.01\text{s}$, $T_{\text{final}} = 3\text{s}$, $\Delta T = 0.01\text{s}$, sometidos al movimiento sísmico de “El Centro”. En la figura 13 se muestran los espectros de respuesta, de los cuales se puede observar que las respuestas prácticamente son las mismas.

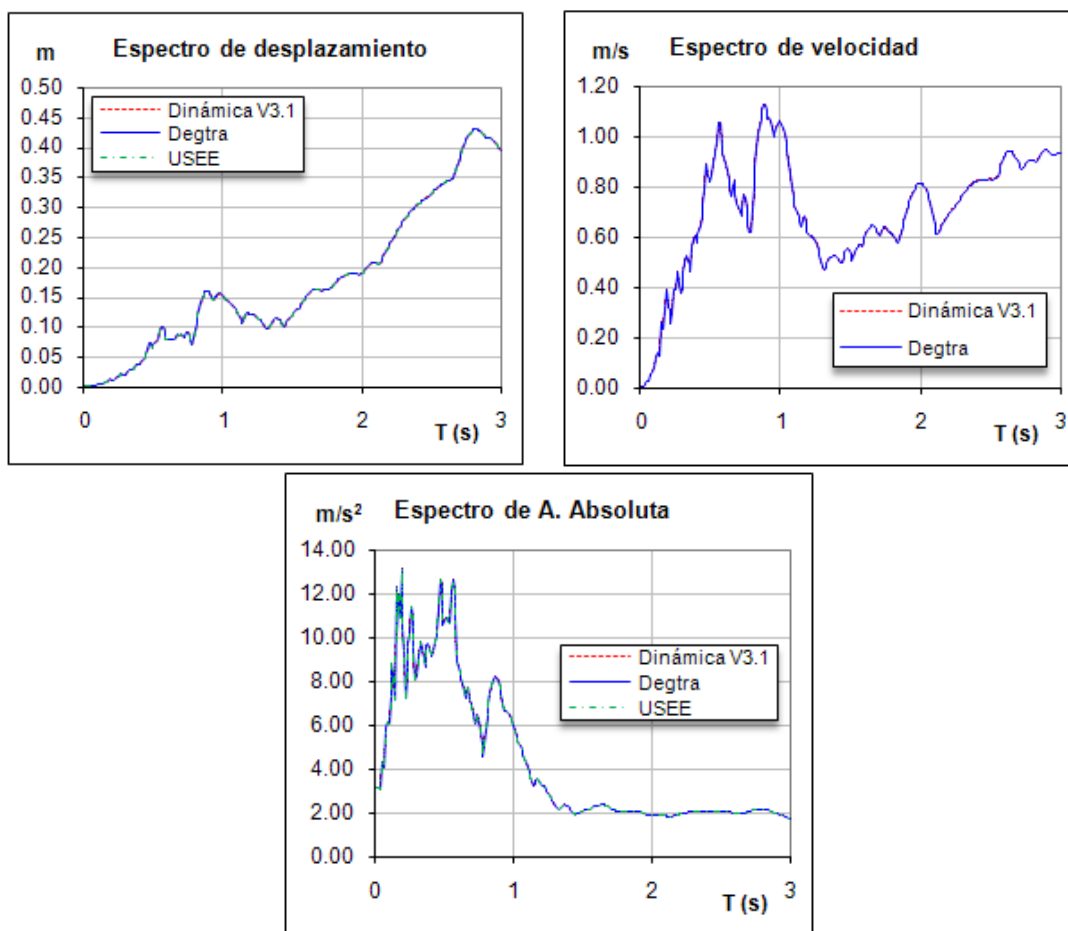


Figura 13 Gráficas de los espectros de respuesta

Para el caso del oscilador de VGL, se compararon sólo los modos de vibrar, factores de participación y periodos naturales de vibración, debido a que la respuesta del oscilador de VGL se obtiene superponiendo respuestas de osciladores de 1GL de diferentes periodos alteradas por los modos de vibrar y los factores de participación correspondientes.

Se considero a un oscilador de 5GL, con propiedades de masa = 444.82 kN/g (0.25892 kips in/s²), k= 5523.22 kN/m (31.54 kips/in), y amortiguamiento modal de $\xi=5\%$, sometido en su base al movimiento

sísmico “El centro”. En las tablas 3 y 4 se muestra la comparación de los factores de participación y los periodos de vibrar de las cuales se observa que los valores obtenidos por *Dinámica V3.1* son iguales.

Tabla 3 Factores de participación

Factores de participación			
Grado	Chopra	USEE	Dinámica V3.1
GL=1	0.356	0.356	0.356
GL=2	0.301	0.301	0.301
GL=3	0.208	0.208	0.208
GL=4	0.106	0.106	0.106
GL=5	0.029	0.029	0.029

Tabla 4 Periodos de vibrar

Periodos T			
Grado	Chopra	Staad	Dinámica V3.1
GL=1	2.000	2.000	2.000
GL=2	0.685	0.685	0.685
GL=3	0.435	0.435	0.435
GL=4	0.338	0.338	0.338
GL=5	0.297	0.297	0.297

La figura 14 muestra la comparación de los modos de vibrar en forma normalizada. Los valores de los modos obtenidos del libro (Chopra, 2001), Staad Pro y *Dinámica V3.1* son prácticamente los mismos.

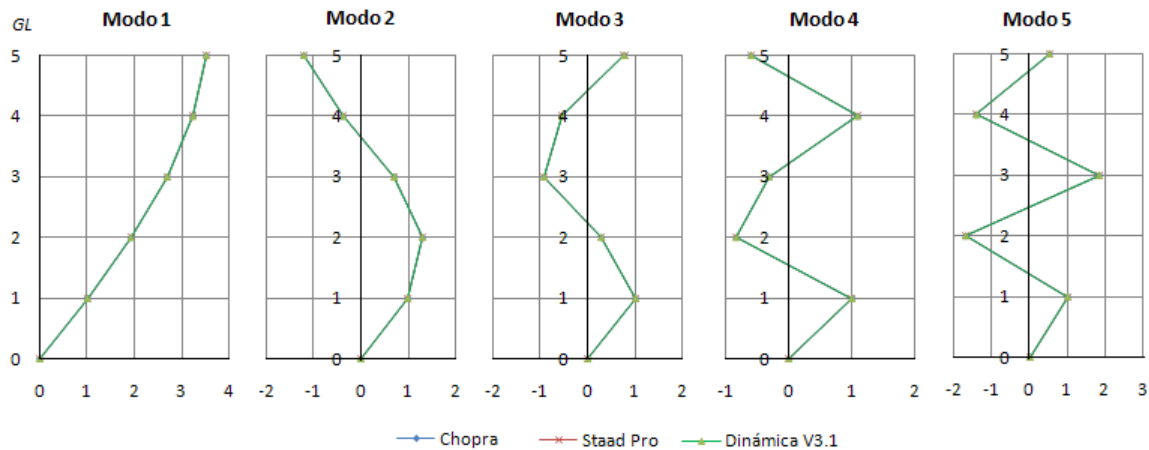


Figura 14 Modos de vibrar normalizados

Con base en los resultados mostrados, se puede decir que la respuesta dinámica obtenida por el programa *Dinámica V3.1* es correcta.

EVALUACIÓN DEL SOFTWARE

El programa se puso a prueba en la clase de Dinámica Estructural del posgrado de ingeniería de la UNAM ciclo escolar 2009-1. Con el objetivo de depurar los errores y tomar en cuenta las consideraciones de los alumnos y profesor hacia el programa. Con ayuda del software el profesor de la materia (Dr. Mario Ordaz) explicó en varias ocasiones conceptos de los temas involucrados. Además, el programa fue proporcionado a los alumnos de dicha clase para que pudieran utilizarlo fuera de ésta.

Al final del semestre en cuestión se aplicó una encuesta (Hinojoza, 2009) a los alumnos de la clase para evaluar los aspectos de: aprendizaje, uso fuera del programa, temas de contenido e interfaz gráfica. En la figura 15 se muestra la gráfica con los promedios finales para cada aspecto, la escala de calificaciones es 1 a 5 unidades, siendo este último el valor más alto.

De la gráfica (figura 15) podemos ver que el aspecto de aprendizaje tuvo una buena calificación (promedio 4.35), en el cual la encuesta iba dirigida principalmente a conocer como el alumno se había sentido recibiendo clase con ayuda del programa;

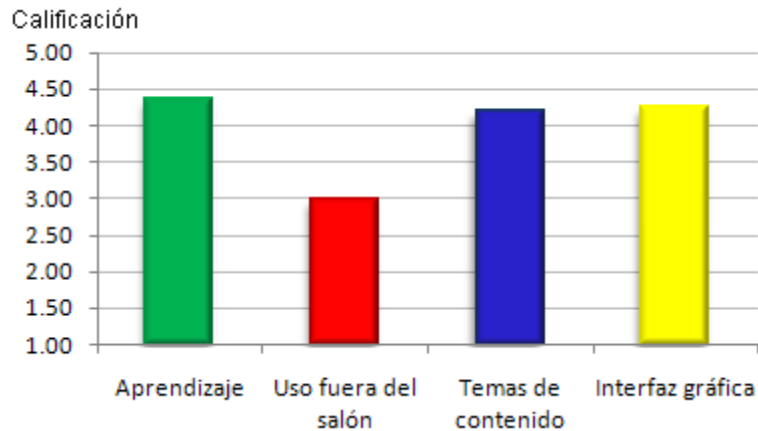


Figura 15 Promedio de las evaluaciones para cada aspecto

También se puede apreciar que los alumnos usaron poco el programa fuera de clase (promedio 2.97), ya sea para investigar por su cuenta o desarrollar alguna tarea o ejercicio en particular. En los dos últimos aspectos de la gráfica (figura 15) se observa una buena aceptación hacia los temas de contenido que maneja el programa y a la interfaz gráfica del mismo, con promedios de 4.17 y 4.24 respectivamente.

A pesar de que la encuesta reveló que los temas de contenido son adecuados, una pregunta abierta dentro de la encuesta indicó que les gustaría ver temas como torsión y sistemas elastoplásticos (figura 15a). Una de las preguntas más interesantes de la encuesta, muestra que al alumno le gustaría recibir clase combinando las formas tradicional y con uso de un software educativo (figura 15b).

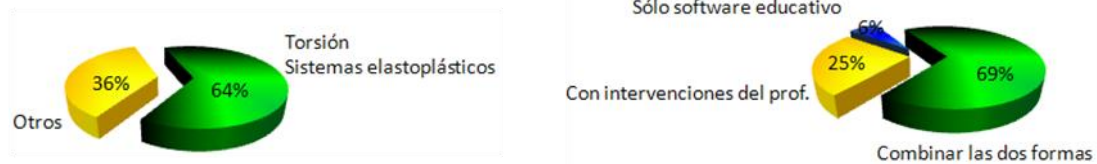


Figura 15 (a) Temas que hacen falta, (b) forma de recibir clase

Los resultados a detalle de las encuestas realizadas se encuentran en la referencia “Hinojoza, 2009”.

CONCLUSIONES

Se ha presentado el programa de cómputo *Dinámica V3.1* como una herramienta de apoyo para la enseñanza y aprendizaje de la dinámica estructural, su composición entre la interfaz gráfica y los temas de contenido es adecuada para ser un software educativo. La interfaz gráfica de usuario es amigable y de fácil manejo.

Los temas de contenido incluidos en el programa son favorables para la enseñanza de la dinámica estructural, desde el punto de vista de la ingeniería sísmica. No obstante, con base en los resultados de las encuestas realizadas en el trabajo, el alumno está interesado en que el programa muestre más temas tales como: torsión y sistemas elastoplásticos entre otros.

La reproducción de ejemplos con ayuda del programa resulta ser más sencilla, rápida y práctica que de la forma de enseñanza tradicional. Una manera recomendable de usar el programa es que el profesor en clases previas explique los conceptos del tema, y después con ayuda del programa realice ejemplos que sirvan al

alumno para visualizar dichos conceptos. Fuera del salón de clase, el usuario puede indagar por sí mismo, cuál es el comportamiento de los osciladores al variar sus parámetros.

Los programas comerciales no satisfacen los requerimientos pedagógicos de un software educativo, ya que sus objetivos son completamente distintos. No obstante, el que no exista aún el software pedagógicamente ideal no debe ser motivo para dejar de lado la oportunidad de encontrar en la computadora a un poderoso aliado educativo.

El uso de la tecnología dentro del salón de clase resulta ser muy benéfica para el proceso enseñanza-aprendizaje, siempre y cuando ésta sea bien dirigida y que la conjunción entre la tecnología y los temas de contenido esté bien estructurada.

REFERENCIAS

Aschheim M. y Abrams D. (2001), **“Programa: Utility Software Earthquake Engineering USEE”**, Universidad de Illinois, EUA.

Benítez R. (2000), **“La educación virtual. Desafío para la construcción de culturas e identidades”**, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa (ILCE), México, pp. 4.

Chopra A. K. (2001), **“Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering”**, Second edition, Prentice Hall, EUA, 844 pp.

Cuevas A. (2001), **“Software Educativo”**, CINVESTAV, México.

Franco G. (2007), **“Experiencias innovadoras de utilización de las NTIC en actividades prácticas de ciencias”**, Educación editora, España, pp. 7-29.

Gálvez D (2001), **“Modelado de las dudas de los alumnos y su integración en software educativo”**, Tesis de maestría, Programa de posgrado en ciencias e ingeniería de la computación, UNAM, México. 230 pp.

Hinojoza O. (2009), **“Software para la enseñanza de la dinámica estructural”**, Tesis de maestría, programa de maestría y doctorado en ingeniería, UNAM, México. 170 pp.

Mendoza M. (2001), **“Metodología para el desarrollo de software educativo multimedia”**, Tesis de maestría, Programa de posgrado en ciencias e ingeniería de la computación, UNAM, México. 191 pp.

Morales C. (1998), **“Evaluación de software educativo”**, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa (ILCE), México. 4-38 pp.

Ordaz M. y Montoya C. (2002), **“Programa: DEGTRA A4, Versión 4.06”**, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Paz M. (1992), **“Dinámica estructural teoría y cálculo”**, Editorial Reverte S.A., España. 648 pp.